Mot-clé SENSIBILITE

1 But

Les calculs de sensibilité d'un résultat par rapport à un paramètre sont pilotés par l'insertion du mot-clé SENSIBILITE dans la commande qui produit le résultat. Il est donc détaillé dans ce document, en précisant les limites de validité. En effet les sensibilités de tous les résultats par rapport à tous les paramètres ne sont pas toutes disponibles !

Nous distinguons 4 types d'opérateurs selon leurs fonctions :

1) les opérateurs principaux, qui produisent un résultat. Cela signifie que l'on veut calculer la dérivée du résultat habituel par rapport aux paramètres désignés,
    1) les opérateurs qui enrichissent le résultat,
    2) les opérateurs qui créent d'autres structures à partir du résultat. Cela signifie que l'on ne s'intéresse pas au résultat en lui-même mais à sa dérivée par rapport aux paramètres désignés,
    3) les opérateurs qui exploitent des résultats.

Les grandeurs données dans la liste associée au mot-clé SENSIBILITE sont de deux types :

1) des paramètres sensibles, para_sensi,
2) des champs « theta », theta_geom, pour les dérivations lagrangiennes.

Remarque :

On se reportera au document [U2.08.02] pour une notice générale sur les calculs de sensibilité. Les fondements théoriques de ces calculs de sensibilité sont décrits dans :
[R4.03.01] : Sensibilité des champs thermo-mécaniques à une variation du domaine
[R4.03.02] : Calcul de sensibilité en thermique
[R4.03.03] : Calcul de sensibilité en mécanique
[R4.03.04] : Calcul de sensibilité en dynamique
[R4.03.07] : Calcul de sensibilité dans les post-traitements

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Syntaxe

```
(  ◊  SENSIBILITE = (ps1, ps2, …)                    [l_para_sensi]
                    (theta1, theta2, …)              [l_theta_geom)
)
```


Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Opérande SENSIBILITE

•SENSIBILITE =

Ce mot-clé permet de choisir les paramètres par rapport auxquels on dérive le résultat.
Ce sont des paramètres sensibles, définis par la commande DEFI_PARA_SENSI (cf. document [U4.31.04]) :

```
ps1, ps2,…                                    [l_para_sensi]
```

Cela peut aussi être des champs theta dans le cas de dérivation par rapport au domaine géométrique :

```
theta1, theta2,…                              [l_theta_geom]
```

Le mot-clé SENSIBILITE peut être suivi de 1 ou de plusieurs noms de paramètres. Leur ordre est indifférent. En revanche, le mot-clé lui-même ne peut être présent qu'une seule fois dans la commande.

4 Convention de rédaction

Nous allons passer en revue les quatre types d'opérateurs qui acceptent le mot-clé SENSIBILITE :

- Opérateur principal : c'est un opérateur qui effectue la résolution du problème et crée une nouvelle structure de résultat. Ce sont les THER_LINEAIRE, MECA_STATIQUE, etc. Dans ce cas, l'insertion du mot-clé SENSIBILITE signifie que *Code_Aster* va calculer le résultat habituel, mais aussi chacune des dérivées de ce résultat par rapport à chacun des paramètres transmis par le mot-clé.

- Opérateur d'enrichissement : c'est un opérateur qui à partir du résultat principal (température, déplacement, …) produit des résultats secondaires (flux, contraintes, …). Ce sont les opérateurs CALC_ELEM et CALC_NO par exemple. Dans ce cas, l'insertion du mot-clé SENSIBILITE signifie que *Code_Aster* va calculer les dérivées du résultat secondaire par rapport à chacun des paramètres transmis par le mot-clé.

- Opérateurs qui créent d'autres structures à partir de la dérivée du résultat. Dans ce cas, l'insertion du mot-clé SENSIBILITE signifie que *Code_Aster* va exploiter les dérivées du résultat par rapport à chacun des paramètres transmis par le mot-clé.

- Opérateur de post-traitement : c'est un opérateur qui ne fait pas de calcul mais qui met en forme un résultat pour le rendre accessible à l'utilisateur. Ce sont les opérateurs POST_RELEVE_T, IMPR_RESU par exemple. Dans ce cas, l'insertion du mot-clé SENSIBILITE signifie que *Code_Aster* va exploiter les dérivées du résultat par rapport à chacun des paramètres transmis par le mot-clé. Attention, seules ces dérivées sont exploitées.

Dans la suite de ce document, nous allons énumérer les opérateurs concernés par la sensibilité. Par convention, seuls les opérateurs mentionnés ci-après sont concernés. De même, pour un opérateur donné, seuls les types de dérivations mentionnées sont accessibles.

Sauf indication contraire, toutes les dérivées accessibles le sont pour tous les types d'éléments, pour tous les types de modèle et aussi bien en stationnaire qu'en transitoire.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

5 Dans un opérateur principal

5.1 Généralités

L'opérateur principal calcule le résultat principal et ses dérivées.

Exemple :

```
reth = THER_LINEAIRE    (  MODELE = modele,
                           CHAM_MATER = chmat,
                           EXCIT = (...),
                           SENSIBILITE = (ps1, ps2) ) ;
```

Cette séquence va résoudre un problème de thermique linéaire et produire la structure de résultat reth. Cette structure contient le champ de température TEMP. De plus, il y aura calcul de la dérivée de la température par rapport à ps1 et de la dérivée de la température par rapport à ps2. Ces dérivées ont la même nature que la température : elles sont représentées sous la forme de champs aux nœuds. Ces champs sont ensuite manipulables comme le champ de température habituel : extraction de valeurs, impressions, etc.

De manière sous-jacente, il y a création d'autant de structures de résultats que de sensibilités demandées. Leurs noms sont établis automatiquement par le programme. Ils n'ont pas à être connus explicitement car on accèdera toujours aux informations par un couple (nom de résultat standard, nom du paramètre de sensibilité). Chacun des champs qui composent une de ces structures de résultats contiendra la dérivée de ce champ par rapport au paramètre de sensibilité concerné.

Exemple :

Le champ TEMP de la structure reth de type evol_ther contient le champ de température aux nœuds du calcul standard. Le champ TEMP de la structure de type evol_ther connue par le couple (reth, ps1) contiendra le champ aux nœuds de la dérivée partielle de la température par rapport à ps1, $\frac{\partial T}{\partial ps1}$. La même règle s'applique à tous les champs qui seront calculés par enrichissement.

5.2 Opérateurs concernés

Le calcul des dérivations des résultats est possible avec les opérateurs suivants :

- THER_LINEAIRE, THER_NON_LINE : thermique linéaire et non linéaire
- MECA_STATIQUE, STAT_NON_LINE : mécanique statique linéaire et non linéaire
- DYNA_LINE_HARM, DYNA_LINE_TRAN, DYNA_NON_LINE : dynamique linéaire harmonique ou transitoire, non linéaire.
- MODE_ITER_SIMULT, MODE_ITER_INV : calcul de modes propres

5.3 Opérateur THER_LINEAIRE

5.3.1 Paramètres sensibles

Il est possible de dériver le champ de température par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- une condition de température imposée,
- un chargement :
  - source,
  - flux,
  - coefficient d'échange et température extérieure,
  - coefficient d'échange parois,
- un matériau :
  - conductivité thermique λ ,

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

•chaleur volumique ρC_p .

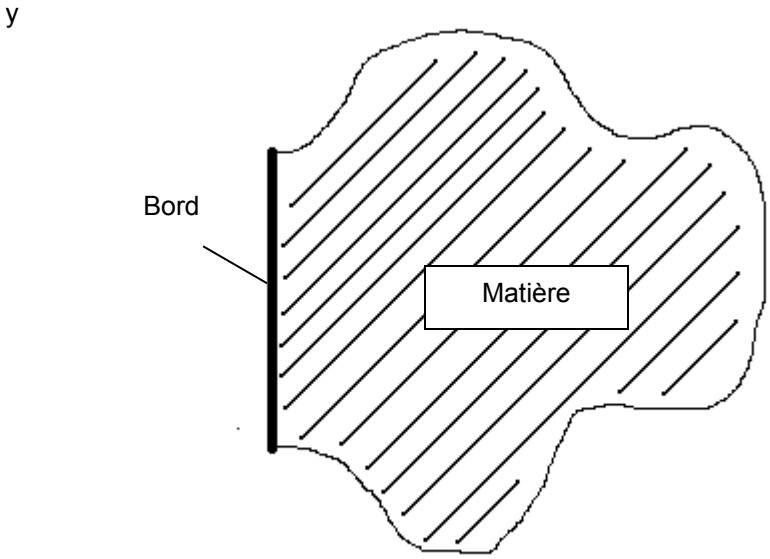
Remarques :

Les dérivations dans les problèmes de thermique linéaire en coque ne sont pas disponibles. On regardera le test [V1.01.151] pour un exemple de sensibilité en thermique linéaire.

5.3.2 Dérivation lagrangienne

La dérivation dite « lagrangienne » permet de calculer la sensibilité du champ de température à la position du bord du domaine. Cela n'est possible que pour les modélisations 'PLAN' et 'AXIS'.

Le bord par rapport auquel on souhaite dériver la température doit être rectiligne, parallèle à l'axe des y. La matière doit être « à droite » de ce bord.



La désignation de ce bord se fait par la donnée d'un champ « theta » :

```
SENSIBILITE = (theta)
```

Ce champ est défini par l'opérateur CALC_THETA, en utilisant l'option THETA_BANDE pour donner la position du bord cf. [U4.82.02].

Remarque :

Il n'y a aucune vérification de cohérence entre la donnée de l'abscisse du bord dans la définition du champ theta et la position du bord telle qu'il est défini dans le maillage. On regardera le test [V7.01.101] pour un exemple de dérivation lagrangienne en thermique.

5.4 Opérateur THER_NON_LINE

Il est possible de dériver le champ de température par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- une condition de température imposée,
- un chargement :
  •source,
  •flux linéaire et non linéaire,
  •émissivité,
  •température à l'infini,
  •coefficient d'échange et température extérieure,
  •coefficient d'échange parois,

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- un matériau :
  - conductivité thermique λ ,
  - chaleur volumique ρC_p .

La dérivation est disponible pour les éléments finis isoparamétriques et les modélisations suivantes : PLAN, PLAN_DIAG, AXIS, AXIS_DIAG, 3D et 3D_DIAG.

Remarque :

On regardera le test [V1.01.154] pour un exemple de sensibilité en thermique non-linéaire.

5.5 Opérateur MECA_STATIQUE

5.5.1 Paramètres sensibles

Il est possible de dériver le champ de déplacement par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- une condition de déplacement imposé (DDL_IMPO ou FACE_IMPO),
- un chargement :
  - une pression répartie,
  - une force nodale ou répartie linéique,
- un matériau :
  - module d'Young pour une loi élastique isotrope, orthotrope ou isotrope-transverse.
  - coefficient de Poisson

La fonctionnalité de dérivation est disponible en 2D et 3D, milieu continu isotherme, POU_D_E, plaque (DKT, DST, DKQ, DSQ, COQUE_3D).

Remarque :

On regardera le test [V1.01.144] pour un exemple de sensibilité en mécanique statique.

5.5.2 Dérivations lagrangiennes

La dérivation dite « lagrangienne » s'applique dans les mêmes conditions que pour l'opérateur de thermique linéaire. Seule restriction supplémentaire : les éléments doivent être de degré 2.

Remarque :

On regardera le test [V7.01.101] pour un exemple de dérivation lagrangienne en mécanique.

5.6 Opérateur STAT_NON_LINE

Il est possible de dériver le champ de déplacement, de contraintes et de variables internes par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- une condition de déplacement imposé (DDL_IMPO ou FACE_IMPO),
- une condition de type Neumann :
  - une pression répartie,
  - une force nodale ou répartie linéique,
- un matériau :
  - module d'Young
  - coefficient de Poisson
  - limite d'élasticité
  - pente de la courbe de traction après la limite d'élasticité

La fonctionnalité de dérivation n'est disponible que pour une structure élastique ou élastoplastique (Von Mises ou Drucker-Prager) avec écrouissage linéaire isotrope, en 2D et 3D, milieu continu isotherme.
Elle n'est pas disponible en 2D contraintes planes.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Remarque :

On regardera le test [V1.01.181] pour un exemple de calcul de sensibilité en mécanique statique non-linéaire.

5.7 Opérateur DYNA_LINE_HARM

Il est possible de dériver le champ de déplacement par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- une condition de déplacement imposé,
- un chargement :
  - force nodale,
  - force répartie linéique, surfacique ou volumique,
  - pression répartie.
- un matériau (disponible en 2D et 3D, milieu continu, POU_D_E, DKT, DST, DKQ, DSQ, COQUE_3D) :
  - module d'Young pour une loi élastique isotrope, orthotrope ou isotrope-transverse,
  - coefficient de Poisson.
- une matrice élémentaire de rigidité ou de masse des éléments DISCRET ou DISCRET_2D :

Remarque :

On regardera le test [V1.01.158] pour un exemple de sensibilité en dynamique linéaire harmonique.

5.8 Opérateur DYNA_LINE_TRAN

Il est possible de dériver le champ de déplacement par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- une condition de déplacement imposé,
- un chargement :
  - force nodale,
  - force répartie linéique, surfacique ou volumique,
  - pression répartie,
- un matériau (disponible en 2D et 3D, milieu continu, POU_D_E, DKT, DST, DKQ, DSQ, COQUE_3D, indisponible pour le schéma d'intégration explicite à pas de temps adaptatif) :
  - module d'Young pour une loi élastique isotrope, orthotrope ou isotrope-transverse,
  - coefficient de Poisson.
- une matrice élémentaire de rigidité ou de masse des éléments DISCRET ou DISCRET_2D

Remarque :

On regardera le test [V1.01.171] pour un exemple de sensibilité en dynamique linéaire transitoire.

5.9 Opérateur DYNA_NON_LINE

Il est possible de dériver les champs de déplacement, vitesse et accélération par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- une condition de type Neumann :
  - une pression répartie,
  - une force nodale ou répartie linéique,
- un matériau :
  - module d'Young,
  - coefficient de Poisson,
  - limite d'élasticité,
  - pente de la courbe de traction après la limite d'élasticité.

La fonctionnalité de dérivation n'est disponible que pour une structure élastique ou élastoplastique (Von Mises) avec écrouissage linéaire isotrope, en 2D et 3D, milieu continu.
Elle n'est pas disponible en 2D contraintes planes.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Remarque :

On regardera le test [V1.01.174] pour un exemple de sensibilité en dynamique non-linéaire.

5.10 Opérateurs MODE_ITER_SIMULT et MODE_ITER_INV

Il est possible de dériver les modes propres, réels ou complexes, par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- une condition de déplacement imposé,
- un matériau (disponible en 2D et 3D, milieu continu, POU_D_E) :
  •module d'Young,
  •coefficient de Poisson.
- une matrice élémentaire de rigidité ou de masse des éléments DISCRET ou DISCRET_2D

La fonctionnalité de dérivation des modes propres n'est pas disponible pour les modes multiples.

Remarque :

On regardera le test [V1.01.188] pour un exemple de sensibilité de modes propres.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

6 Dans un opérateur d'enrichissement du résultat

6.1 Généralités

L'opérateur d'enrichissement calcule des résultats secondaires à partir du résultat principal.

Exemple :

```
reth = CALC_ELEM    (  RESULTAT = reth,
                       MODELE = modele,
                       EXCIT = (...),
                       OPTION = ('FLUX_ELGA'),
                       SENSIBILITE = (ps1, ps2) ) ,
```

Cette séquence va enrichir la structure de résultats `reth` en calculant la dérivée du flux thermique aux points de Gauss par rapport à `ps1` et celle par rapport à `ps2`.
Ces dérivées ont la même nature que le flux : ce sont des champs aux points de Gauss. Ces champs sont ensuite manipulables comme le champ de flux habituel : extraction de valeurs, impressions, etc.

Remarque :

Avant de faire un tel enrichissement, il faut que la dérivée du champ principal (température, déplacement,…) ait été calculée.
Le rangement des différents champs dérivés se fait selon la règle décrite au [§5.1].

6.2 Opérateurs concernés

Le post-traitement des dérivations des résultats est possible avec les opérateurs suivants :

- `CALC_ELEM`, `CALC_NO` : calcul de champs aux éléments ou aux nœuds
- `NORM_MODE` : norme des modes propres

6.3 Opérateur CALC_ELEM

L'opérateur d'enrichissement calcule des résultats secondaires à partir du résultat principal.

6.3.1 Paramètres sensibles

En thermique linéaire ou non linéaire :

- `FLUX_ELGA` : dérivée du flux de chaleur.

En mécanique statique :

- `EPSI_ELGA` : dérivée des déformations,
- `SIEF_ELGA` : dérivée des contraintes.

En dynamique linéaire transitoire :

- `****_****_DEPL` : dérivée des déformations ou des contraintes (non disponible pour les éléments `POU_D_E`, `DKT`, `DST`, `DKQ`, `DSQ`, `COQUE_3D`).

6.3.2 Dérivation lagrangienne

En thermique linéaire :

- `DETE_ELNO` : dérivée eulérienne de la température.

En mécanique statique :

- `DEDE_ELNO` : dérivée eulérienne de la température,

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- SIEF_ELGA : dérivée lagrangienne des contraintes,
- DESI_ELNO : dérivée eulérienne des contraintes.

6.4 Opérateur CALC_NO

Il n'y a aucune restriction particulière : à partir du moment où le champ dérivé exprimé par élément a été calculé, sa projection sur les nœuds est possible.

6.5 Opérateur NORM_MODE

Il s'agit ici de multiplier la dérivée du vecteur propre par un coefficient dépendant de la norme demandée par l'utilisateur.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

7 Dans un opérateur de création d'autres structures

7.1 Généralités

L'opérateur de création d'autres structures produit des concepts à partir du résultat principal et du résultat dérivé.

Exemple :

```
dtz2 = RECU_FONCTION   (  RESULTAT = reth,
                          NOM_CHAM = 'DEPL',
                          TOUT_ORDRE = 'OUI',
                          NOM_CMP = 'DX',
                          SENSIBILITE = (ps1, ps2) ) ,
```

Cette séquence va créer deux fonctions contenant les dérivées de la composante DX du déplacement par rapport à `ps1` et celle par rapport à `ps2`.

Remarque :

Le rangement des différentes fonctions dérivées se fait selon la règle décrite au [§5.1].

7.2 Opérateurs concernés

Le post-traitement des dérivations des résultats est possible avec les opérateurs suivants :

- `CREA_TABLE, CALC_TABLE` : création et manipulation de tables,
- `CALC_G` : taux de restitution d'énergie,
- `POST_RELEVE_T` : extraction de valeurs,
- `RECU_FONCTION` : extraction de valeurs,
- `EXTR_RESU` : extraction de résultats,
- `CREA_CHAMP` : création d'un champ,
- `PROJ_CHAMP` : projection d'un champ ou d'un résultat,

7.3 Opérateur CALC_G

Le taux de restitution d'énergie peut être dérivé. Le domaine de validité est celui de la dérivation des champs de déplacements et de contraintes associées.
Il est possible de dériver le taux de restitution d'énergie par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- un chargement :
  - une force répartie linéique (2D) ou surfacique (3D),
  - une force volumique (2D ou 3D),
  - une pression répartie sur les lèvres de la fissure,
  - une force nodale,
- un matériau :
  - module d'Young pour une loi élastique isotrope.

Les coefficients d'intensité de contraintes K_I et K_{II} en 2D peuvent aussi être dérivés par rapport à un paramètre sensible quand il a été utilisé pour définir :

- un chargement :
  - une force répartie linéique,
  - une force volumique 2D ,
  - une pression répartie sur les lèvres de la fissure,
  - une force nodale,
- un matériau :
  - module d'Young pour une loi élastique isotrope.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Limitations :

1) Il n'est pas possible de dériver le taux de restitution d'énergie et les coefficients d'intensité de contraintes par rapport à une condition de déplacement imposé car le terme correspondant dans G n'est pas implanté.
2) La fonctionnalité de dérivation est disponible en 2D et 3D, milieu continu pour G et en 2D pour les coefficients d'intensité de contraintes

Le résultat est une table, comme le taux de restitution standard.

Exemple :

```
ga = CALC_G( …
             SENSIBILITE = (ps1, ps2) ) ,
```

Cette séquence produira la dérivée du taux de restitution `ga` par rapport au paramètre sensible `ps1`. L'exploitation de cette dérivée se fera en fournissant le couple (`ga`,`ps1`) ; par exemple, pour une impression on utilisera la commande `IMPR_TABLE` habituelle.

Remarque :

On regardera le test [V7.02.101] pour un exemple de sensibilité en mécanique de la rupture.

7.4 Opérateur POST_RELEVE_T

Une option particulière est à préciser pour l'opérateur de post-traitement `POST_RELEVE_T` dans le cas du post-traitement d'un résultat issu d'un calcul harmonique, c'est-à-dire de type `dyna_harmo` ou `acou_harmo`.
Pour un champ réel de ce résultat, tout se passe comme pour les autres types de résultats. Aucune option n'est à ajouter.
En revanche, pour un champ complexe, la grandeur s'exprime sous la forme $V_r+i.V_i$. Son module est $\sqrt{\left(V_r^2+V_i^2 \right)}$ Le calcul des sensibilités dans l'opérateur principal aura permis de connaître les deux dérivées $\partial V_r/\partial p$ et $\partial V_i/\partial p$.
On peut vouloir deux informations :

- Soit la dérivée du module de la grandeur :
$$\frac{V_r.\partial V_r/\partial p+V_i.\partial V_i/\partial p}{\sqrt{V_r^2+V_i^2}}$$
- Soit le module de la dérivée du champ :
$$\sqrt{\left(\frac{\partial V_r}{\partial p}\right)^2+\left(\frac{\partial V_i}{\partial p}\right)^2}$$

Le choix entre ces deux options se fait par le mot-clé `SENSIBILITE_OPTION` :

♦ `SENSIBILITE_OPTION = / 'SENSIBILITE_MODULE'`
`/ 'MODULE_SENSIBILITE'`

- Pour obtenir la dérivée du module du champ, on utilisera `'SENSIBILITE_MODULE'`
- Pour obtenir le module de la dérivée du champ, on utilisera `'MODULE_SENSIBILITE'`

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

Exemple :

```
DX4 = POST_RELEVE_T (ACTION=(_F( RESULTAT = REDYHA,
                                 NOM_CHAM = 'DEPL',
                                 NOM_CMP = 'DX',
                                 GROUPE_NO = 'GN4',
                                 SENSIBILITE = (ps1, ps2),
                                 SENSIBILITE_OPTION = 'SENSIBILITE_MODULE',
                                 ) ) ,
```

Le résultat REDYHA est complexe, donc la composante DX du champ de déplacement s'exprime sous la forme DXr + i * Dxi. Son module est sqrt(DX^2 + DY^2). La séquence présentée ici va créer deux tables contenant les dérivées de ce module par rapport à ps1 et ps2.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

8 Dans un opérateur de sortie de résultats

8.1 Généralités

L'opérateur de post-traitement met en forme les dérivés des résultats.

```
IMPR_RESU (RESU = _F (MAILLAGE = mail,
                      RESULTAT = reth,
                      NOM_CHAM = 'TEMP'
                      SENSIBILITE = (ps1, ps2)) ) ,
```

Cette séquence va imprimer les dérivées du champ de température contenue dans le résultat `reth` par rapport à `ps1` et `ps2`. Attention, cela n'imprimera pas la température standard.

On constate dans ces commandes que le nom de la structure de résultats qui contient les dérivées n'apparaît jamais en clair. La structure est toujours connue par le couple (nom de résultat standard, nom du paramètre sensible). C'est ce qui est décrit au [§5.1].

8.2 Opérateurs concernés

Le post-traitement des dérivations des résultats est possible avec les opérateurs suivants :

- `IMPR_RESU` : impression de structures de résultats,
- `IMPR_TABLE` : impression de tables,
- `CREA_CHAMP` : création d'un champ,
- `TEST_RESU, TEST_FONCTION, TEST_TABLE` : comparaison de valeurs,
- `MACR_ADAP_MAIL` : utilisation d'une dérivée comme indicateur d'erreur.
- `IMPR_CO` : impression de concepts,
- `DETRUIRE` : destruction de concepts.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)